

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Семенов В, Мительман Ю. Е.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

viktor.semenov@urfu.me, y.e.mitelman@urfu.ru

Аннотация. В данной работе представлены неразрушающие методы определения качественных характеристик различных фруктов и овощей. Все исследованные методы предназначены для определения соотношений физических параметров фрукта или овоща и его качества, например, зрелости или цвета. Использован метод измерения S-параметров для исследования характеристик яблока. Представлены измерения коэффициента отражения яблока при помощи баночной антенны.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, биоимпеданс, диэлектрические измерения, рефлектометрия, качество фруктов.

NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF FRUITS USING RADIOELECTRONICS

Semenov V., Mitelman Y.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. This paper presents non-destructive methods for determining the qualitative characteristics of various fruits and vegetables. All the methods investigated try to find and determine how the physical parameters of a fruit or vegetable relate to its quality, such as ripeness or color. The method of measuring S-parameters was used to study the characteristics of an apple. Measurements of the reflection coefficient of an apple using a canned antenna are presented.

Key words: nondestructive testing, bioimpedance, dielectric measurement, reflectometry, fruit quality.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в мире наблюдается значительное увеличение количества сельскохозяйственной продукции и ее разнообразия. Таким образом,

растущий спрос на высококачественные фрукты и овощи требует быстрого развития технологий послеуборочной обработки. В течение многих лет качественная оценка сельскохозяйственной продукции интересовала исследователей. Однако, нет четкого определения качества сельскохозяйственной продукции; различные авторы определяют качество по-разному. Тем не менее, для определения качества обычно используются определенные основные факторы: размер, форма, цвет, вкус, текстура и отсутствие дефектов и посторонних веществ. Поскольку многие показатели качества сельскохозяйственной продукции связаны с физическими свойствами продукции, могут быть разработаны неразрушающие методы оценки качества, основанные на физических свойствах.

В настоящее время существует две группы методов оценки качества: разрушающие и неразрушающие. К неразрушающим методам относятся использование ультразвука, рентгена, оптики, ближнего ИК диапазона и электромагнитного излучения. К ним же можно отнести и ручную сортировку, хотя она дорогая и трудоемкая, а также субъективная. Кроме того, поверхностный визуальный осмотр не позволяет выявить какие-либо отклонения от нормы внутри образцов. Поскольку в сельскохозяйственном секторе добавленная стоимость низка по сравнению с большинством других отраслей, интерес к разработке передовых технологий и оборудования для неразрушающего контроля качества постоянно возрастает в последние десятилетия. К сожалению, в настоящее время практически отсутствуют комплексные исследования, систематизирующие методы неразрушающего контроля качества плодов. Мы считаем, что на данном этапе развития радиоэлектроники ее достижения могут и должны быть использованы для решения этой, несомненно, важной задачи.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ФРУКТОВ

1 Спектроскопия. Спектроскопия – это физический метод изучения закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения (света) с химическим веществом. Спектры, используемые авторами в [1], составляют от 360 до 1050 нм. Метод ближнего инфракрасного излучения (*NIR*) дает информацию о химическом веществе и структуре исследуемых плодов на основе отражения и селективного поглощения инфракрасного излучения. Механизм взаимодействия света с веществом при облучении определяется физическими свойствами вещества: обычно это коэффициент поглощения, коэффициент рассеяния, коэффициент анизотропии, теплопроводность, теплоемкость и

механическая прочность. Изменения в материале приводят к изменениям в характеристиках поглощения и рассеяния. Рассеяние является ключевым эффектом в тканях в области видимого и ближнего инфракрасного излучения (400–1100 нм). Чтобы сделать количественный прогноз химического соединения в неповрежденном фрукте по *NIR*, свет от источника направлен на проникновение через мякоть плода и отражение обратно в детектор. Преимущество спектрометрического метода *NIR* состоит в том, что он может записывать спектры для твердых и жидких образцов.

2 Измерение диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая спектроскопия изучает комплексную диэлектрическую проницаемость среды ($\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$) в зависимости от частоты. На поведение диэлектрической проницаемости биологических тканей влияют различные процессы. Обнаружение корреляции качественных характеристик фруктов и диэлектрической проницаемости позволит осуществлять на ее основе неразрушающий контроль [2].

3 Компьютерное зрение. Компьютерное зрение – это научное направление в области искусственного интеллекта, которое занимается обработкой изображений реального мира с целью получения данных для решения различных задач без участия (полного или частичного) человека. При определении качества требуется идентифицировать пиксели, которые отличаются от соседних, как указано в [3]. Эти крошечные фрагменты информации собираются датчиком камеры и затем обрабатываются с использованием различных методов обнаружения дефектов, таких как сегментация, выбор признаков и классификация. В настоящее время, например, яблоки сортируются с использованием обработки изображений, в основном по форме, размерам и цвету.

4 Ультразвук. В [4] исследовании авторы использовали программируемый биполярный дистанционный ультразвуковой импульсный генератор, чтобы разработать и реализовать тестер качества фруктов, сопоставили свои измерения с такими качественными характеристиками, как твердость, содержание сахара и цвет.

5 *Rician k-factor*. В [5] исследователи предоставили сенсорную систему на основе рефлектометра со сканированием луча. Пучки рассеянных волн в некоторых направлениях вокруг плода отражаются коническим отражателем и сканируются с использованием фазированной решетки. Полученные данные были использованы для расчета коэффициента Райана и затем направлены на

поиск корреляции между качественными характеристиками исследуемых фруктов.

6 Биоспекл. В [6] представлен метод пространственно-временной спекл-корреляции. Метод является бесконтактным, неинвазивным и неразрушающим, и основан на изучении изменений в биоспектрах с течением времени. Для его применения в качестве источника когерентного света используется лазер. Когда лазерный свет попадает на биоматериал, он проходит через один или несколько слоев (воздушный зазор, мембраны, кожа). Каждый слой будет действовать как стационарный рассеиватель. Поэтому атомы в веществе облучаются лазерным спекл-полем и рассеивают лазерный свет назад по воздуху. В результате лазерное излучение рассеивается много раз, прежде чем в итоге в области формируется спекл-поле.

7 Измерение сопротивления. В исследовании [7] используется недорогая импедансная спектроскопия, где бананы сортируются с использованием импеданса на многих частотах в диапазоне от 100 Гц до 85 кГц [8], а затем данные, полученные с изменениями цвета бананов во время созревания, коррелируют.

8 Измерение CSI. Исследователи в [8] определили зрелость фруктов путем измерения частотной характеристики дискретизированного канала, который экспортируется сетевыми картами *Wi-Fi* в качестве информации о состоянии канала (*CSI*). Они использовали математические преобразования для выявления и извлечения сигналов, которые проходили непосредственно через плод для обнаружения и определения созревания.

9 Измерение доплеровской частоты. В [9] микроволновый датчик, который может обнаружить дефектные плоды, был введен для классификации мангустина. Нормальный мангустин имеет белую мякоть и из-за чрезмерного поглощения воды во время роста плода мякоть становится прозрачной и безвкусной. Прозрачность в этом методе определяется путем измерения доплеровской частоты, когда мангустин вращается.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основываясь на рассмотренных методах, было принято решение использовать метод измерения S-параметров исследуемого объекта, в связи с тем, что университет обладает необходимым оборудованием для его применения. для получения характеристик фрукта необходимо выбрать диапазон частот, в котором будут измеряться S-параметры фрукта. Чтобы получить как можно больше информации было решено использовать антенну с

как можно большей рабочей полосой частот по уровню $KCB < 2$, и при этом простую в изготовлении. Полоса частот была выбрана от 2 ГГц и выше, так как при использовании более низких частот значительно увеличиваются размеры антенны. Для этих целей была выбрана баночная антенна, так как она проста в изготовлении и обладает необходимыми характеристика. Антенна была смоделирована в САПР *Ansys HFSS*, а затем изготовлена. В качестве объекта измерений было выбрано яблоко, оно было помещено на диэлектрическую крышку баночной антенны. Антенна в свою очередь подключена к векторному рефлектометру *CABAN R54*, который позволяет измерять коэффициент отражения S_{11} . На рисунке 1 слева представлена модель антенны в *Ansys HFSS*, в правой части представлен процесс измерений.

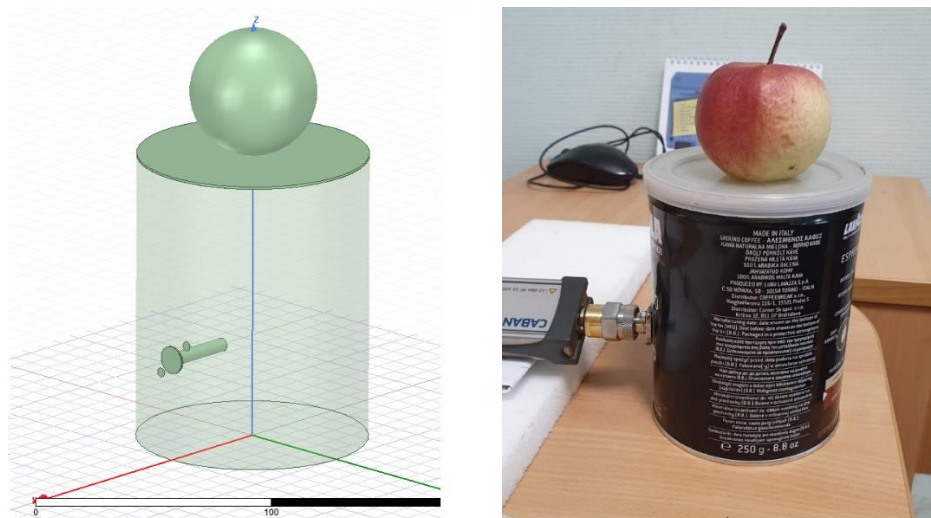


Рисунок 1 – Модель и измерительная установка

На данный момент измерения производятся на протяжении двух недель, в качестве графического отображения изменений характеристик фрукта представлен график зависимости КСВ от частоты на рисунке 2.

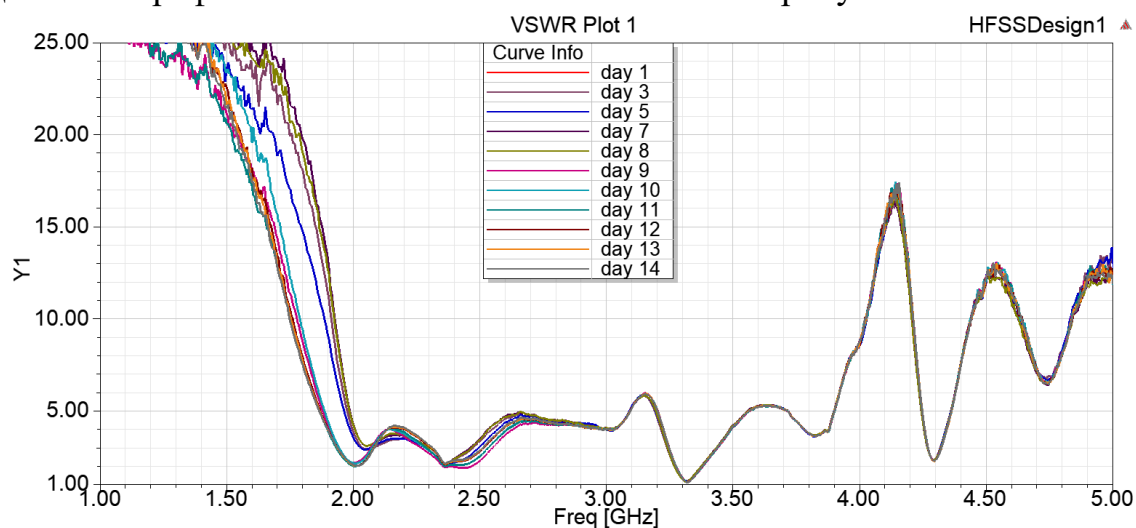


Рисунок 2 – Частотные зависимости КСВ, измеренные в течение двух недель

Исходя из полученных данных можно заметить, что характеристики изменяются ежедневно, что говорит о возможности отслеживать качественные характеристики посредством измерения коэффициента отражения S_{11} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были рассмотрены неразрушающие методы оценки качества сельскохозяйственной продукции. Выявлено, что у существующих методов имеются, например, проблемы безопасности при рентгенографии или эксплуатационные ограничения при ультразвуковом исследовании.

В работе произведено исследование характеристик яблока методом измерения S-параметров при помощи баночной антенны и векторного рефлектометра. Показано, что изменение качества плода влияет на импедансные характеристики антенны, в ближней зоне которой он находится. Для дальнейшего определения качественных характеристик яблока необходимо накопить больше данных и затем произвести обработку полученной информации на предмет зависимости внешних признаков (гниение) с измеряемыми S-параметрами. Работа в данном направлении будет продолжаться.

Библиографический список

1. J. Yao, H. Yang, and Y. He, "Calibrating total acidity of tomato products using GA and Vis/NIR spectroscopy" in Proceedings of the 7th Asian Control Conference, Hong Kong, China, 2009, pp. 1697–1700.
2. S. Redzwan, M. D. Perez, J. Velandar, and R. Augustine, "Study of Maturity Fruit Assessment using Permittivity and Microwave Reflectivity Measurements for Quality Classification" in 2018 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Västerås, 2018, pp. 1–3.
3. H. Patel, R. Prajapati, and M. Patel, "Detection of Quality in Orange Fruit Image using SVM Classifier" in 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 2019, pp. 74–78.
4. F. Yildiz, A. T. Ozdemir, and S. Uluisik, "Custom Design Fruit Quality Evaluation System with Non-Destructive Testing Techniques" in 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, Malatya, Turkey, 2018, pp. 1–5.
5. C. Kittiyapunya, P. Leekul, C. Phongcharoenpanich, and M. Krairiksh, "Beam-Scanning Reflectometer for Detecting Granulated Fruits" IEEE Sensors J., vol. 17, no. 5, pp. 1277–1284, Mar. 2017.

6. F. Vega and M. C. Torres, “Automatic detection of bruises in fruit using Biospeckle techniques” in Symposium of Signals, Images and Artificial Vision - 2013: STSIVA - 2013, Bogotá, Colombia, 2013, pp. 1–5.
7. P. Ibba, A. Falco, A. Rivadeneyra, and P. Lugli, “Low-Cost Bio-Impedance Analysis System for the Evaluation of Fruit Ripeness” in 2018 IEEE SENSORS, New Delhi, 2018, pp. 1–4.
8. S. Tan, L. Zhang, and J. Yang, “Sensing Fruit Ripeness Using Wireless Signals” in 2018 27th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), Hangzhou, 2018, pp. 1–9.
9. P. Leekul and M. Krairiksh, “A Sensor for Fruit Classification Using Doppler Radar” in 2018 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Västerås, Sweden, 2018, pp. 1–2.